



UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA

**SIFAT TERMA-MEKANIK KOPOLIMER
POLI (METIL METAKRILAT-CO-STIRENA)**

WAN FADILAH BT. WAN ABDULLAH

FSAS 2000 38

**SIFAT TERMA-MEKANIK KOPOLIMER
POLI (METIL METAKRILAT-CO-STIRENA)**

Oleh

WAN FADILAH BT . WAN ABDULLAH

**Tesis Ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Keperluan Untuk Ijazah Master Sains
di Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia**

September 2000



Buat

**Wan, Iyan dan emak tersayang FATIMAH BT. ABDULLAH,
HAJJAH TUPIN BT. HAJI SULAIMAN
dan NORIMAH BT. ISMAIL
anak yang dikasihi HARIS B. HASRIMAN
dan NURFAIZAH BT. HASRIMAN
suami tercinta HASRIMAN B. ABU HASHIM**

**Ribuan terima kasih di atas segala kasih sayang, dorongan serta doa dan
harapan yang telah diberikan bagi menyiapkan tesis ini.**

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia sebagai memenuhi keperluan untuk Ijazah Master Sains.

**SIFAT TERMA-MEKANIK KOPOLIMER POLI (METIL
METAKRILAT-CO-STIRENA)**

Oleh

WAN FADILAH BT. WAN ABDULLAH

September 2000

Pengerusi : Mansor bin Hj Ahmad, Ph. D.

Fakulti : Sains dan Pengajian Alam Sekitar

Kopolimer metil metakrilat (MMA) dan stirena (ST) pada nisbah yang berbeza (1:1, 1:2 dan 2:1) disediakan dengan berbagai peratus etilena glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai agen perangkai silang. Pempolimeran dilakukan di dalam kukus air pada 60°C dengan kehadiran bahan pemula azobisisobutironitril (AIBN). Pencirian dibuat berdasarkan kandungan air pada keseimbangan (EWC), kandungan pelarut pada keseimbangan (ESC), suhu peralihan kaca (T_g), penghabluran, takat lebur (T_m) dan ujian mekanik.

Didapati nilai EWC bagi kesemua kopolimer tersangat kecil kira-kira 0.4-1.0%. Nilai ESC (di antara 25-75%) berkurangan dengan peningkatan peratus EGDMA. Daripada analisis terma, didapati pertambahan EGDMA menunjukkan terdapatnya peningkatan pada peratus penghabluran bagi kopolimer yang sama

banyak atau lebih banyak kandungan MMA berbanding ST. Bagi kopolimer yang tinggi kandungan ST, terdapat sedikit pertambahan penghabluran terhadap EGDMA. Walau bagaimana pun kandungan ST yang tinggi menyebabkan nilai T_m meningkat. Sebaliknya nilai T_m berkurang apabila EGDMA bertambah. Sifat-sifat termomekanikal kopolimer telah diselidiki sebagai fungsi kadar terikan dan suhu masing-masing dalam julat 10^{-3} hingga 10^{-1} s^{-1} dan $30\text{-}200^\circ\text{C}$. Daripada lengkung tegasan-terikan, plot aliran tegasan/suhu lawan kadar terikan diperolehi mematuhi persamaan Eyring. Peratusan EGDMA dapat meningkatkan kekuatan kopolimer ini. Kopolimer yang tinggi komposisi MMA adalah lebih kuat. Ujian mekanik (Graf log modulus Young (E) lawan suhu) dan ujian terma telah menunjukkan bahawa T_g terdapat di antara 80 dan 100°C .

Abstract of thesis presented to the Senate of Universiti Putra Malaysia in fulfilment of requirement for the degree of Master of Science.

**THERMAL-MECHANICAL PROPERTY OF COPOLYMER POLY
(METHYL METHACRYLATE-CO-STYRENE)**

By

WAN FADILAH BT. WAN ABDULLAH

September 2000

Chairman : Mansor bin Hj Ahmad, Ph. D.

Faculty : Science and Environmental Studies

Copolymers of methyl methacrylate (MMA) and styrene (ST) at different ratios (1:1, 1:2 and 2:1) were prepared with various percentages of ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as cross-linking agent. Polymerization was done (in a water bath) at 60°C in the presence of azobisisobutyronitrile (AIBN) as the initiator. These gels were characterised by determinations of equilibrium water content (EWC), equilibrium solution content (ESC), glass transition temperature (T_g), crystallization, melting point (T_m) and mechanical testing.

The EWC values of all copolymers were found to be between 0.4 and 1.0%. ESC (25-75%) decreased with increasing percentage of EGDMA. Results in thermal study illustrate that the increment of EGDMA shows that the percentage of the crystallization also increases for copolymer with equal or more

content of MMA compared to ST. For copolymers with higher ratios of ST, the increase in EGDMA slightly increases the percentage of crystallization. However, higher ST ratio yield the highest melting temperature. EGDMA yields an adverse effect on melting temperature. The thermomechanical properties of copolymers were investigated as a function of strain rate and temperature in range 10^{-3} to 10^{-1} s^{-1} and 30-200°C. From the stress-strain curve a plot of flow stress/temperature versus strain rate was obtain following the Eyring equation. It was found that the percentage of the cross-linker EGDMA and highest composition MMA improved the strength of copolymers. Mechanical test (a plot of log Young's Modulus (E) versus temperature) and thermal analysis indicates that glass transition temperatures for the copolymers lies between 80 and 100°C.

PENGHARGAAN

Bersyukur ke hadrat Allah s.w.t. kerana dengan limpah kurniaNya, dapat jua saya menyiapkan tesis ini dengan jayanya. Selawat dan salam buat junjungan besar Nabi Muhammad s.a.w., keluarga dan sahabat seluruhnya.

Sebesar-besar penghargaan dan jutaan terima kasih yang tidak terhingga kepada Penyelia penyelidikan ini iaitu **Dr. Sinin b. Hamdan**, Pengerusi Penyeliaan, **Dr. Mansor b. Hj Ahmad** dan Pengerusi Pemeriksaan iaitu **Prof. Madya Dr. MD. Jelas b. Haron** di atas segala idea, inspirasi, bimbingan serta teguran yang membina dalam proses menyiapkan tesis ini. Tidak lupa juga terima kasih diucapkan kepada Ahli Jawatan Kuasa Penyeliaan yang lain, iaitu **Dr. Mohd Zaki b. Hj Abdul Rahman** dan **Prof. Madya Dr. Wan Daud b. Wan Yusof** di atas segala pandangan yang membina dalam projek ini.

Dalam kesempatan ini juga saya ingin mengucapkan terima kasih kepada **En. Aziz b. Jantan**, **En. Kamal b. Margona** dan **Cik Azilah bt. Abdul Jalil** di atas bantuan Instron, DSC dan SEM. Terima kasih juga kepada rakan-rakan seperjuangan seperti **Kak, Tie, Anje, Ros, Kak Mieza, Mas, Bib, Kak Fidah, Kak Da, Kak Nor, Faridah** serta rakan-rakan di PSTP di atas segala sokongan dan dorongan serta pandangan yang bernas semasa proses penyelidikan ini dilakukan.

Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada semua yang terlibat terutamanya untuk suami serta anak-anak tersayang yang sanggup mengorbankan masa dan tenaga serta memberikan semangat dalam penyediaan tesis ini.

Saya mengesahkan bahawa Jawatankuasa Pemeriksa bagi Wan Fadilah Wan Abdullah telah mengadakan pemeriksaan akhir pada 26 September 2000 untuk menilai tesis Master Sains beliau yang bertajuk “Sifat terma-mekanik kopolimer poli (metil metakrilat-co-stirena)” mengikut Akta Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1980 dan Peraturan-Peraturan Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1981. Jawatankuasa Pemeriksaan memperakukan bahawa calon ini layak dianugerahkan ijazah tersebut. Anggota Jawatankuasa Pemeriksaan adalah seperti berikut:


Md. Jelas Haron, Ph.D,
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Pengerusi)

Mansor Hj Ahmad, Ph.D,
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Sinin Hamdan, Ph.D,
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Mohd Zaki Hj Abdul Rahman, Ph.D,
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Wan Daud Wan Yusof, Ph.D,
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)



MOHD CHAZALI MOHAYIDIN, Ph.D.
Profesor
Timbalan Dekan Pusat Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: 08 DEC 2000

Tesis ini telah diserahkan kepada Senat Universiti Putra Malaysia dan telah diterima sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains.



KAMIS AWANG, Ph.D,
Profesor Madya
Dekan Pusat Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: 11 JAN 2001

Saya mengaku bahawa tesis ini adalah hasil kerja saya yang asli melainkan petikan dan sedutan yang telah diberi penghargaan di dalam tesis. Saya juga mengaku bahawa tesis ini tidak dimajukan untuk ijazah-ijazah lain di Universiti Putra Malaysia atau di institusi-institusi lain.



(Wan Fadilah Wan Abdullah)

Tarikh : 31 November 2000

KANDUNGAN

Muka surat

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
PENGHARGAAN	vii
LEMBARAN PENGESAHAN	ix
PENYATAAN KEASLIAN	xi
SENARAI JADUAL	xiv
SENARAI RAJAH	xv
SENARAI FOTO	xxii
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN	xxiii

BAB

I	Pengenalan	1
	Poli (metil metakrilat)	2
	Polistirena	4
	Struktur Polimer	5
	Ikatan di antara Atom	5
	Penyusunan Atom di dalam Polimer	6
	Sifat-sifat Mekanik Polimer	8
	Kesan Suhu ke atas Polimer	8
	Suhu Peralihan Kaca (T _g)	10
	Takat Lebur (T _m)	12
	Kesan Kadar Terikan	13
	Pengembangan	14
	Objektif Kajian	15
II	Latar Belakang Kajian	16
	Takrifan Tegasan	21
	Takrifan Terikan	22
	Hukum Hooke	23
	Analisis Terma	28
	Pengenalan kepada Penggunaan DSC	30
	Instron Siri IX (Instron Universal Testing Instrument Series IX)	32
	Kebuk Kawalan Suhu Instron Siri 3119-005	33
	Keabadian Isipadu dan Nisbah Poisson	34
	Kekangan Inersia dan Geseran dalam Ujian Mampatan	36



III	BAHAN DAN METODOLOGI	37
	Bahan	37
	Penulenan Monomer	37
	Pempolimeran	38
	Ujian Pengembungan	40
	Pengembungan di dalam Air	40
	Pengembungan di dalam Pelarut Organik	41
	Analisis Terma	41
	Ujian Mampatan pada Kadar Terikan Rendah	42
IV	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	45
	Kandungan Air pada Keseimbangan, EWC dan Kandungan Pelarut pada Keseimbangan, ESC	45
	Analisis Terma	56
	Ujian Mampatan pada Kadar Terikan Rendah	77
	Kesan Komposisi ke atas Lengkung Tegasan-terikan	78
	Kesan Perangkai Silang ke atas Lengkung Tegasan-terikan	79
	Kesan Kadar Terikan terhadap Kekuatan Polimer	116
	Kesan Suhu terhadap Sampel	119
V	KESIMPULAN DAN CADANGAN	131
	Kesimpulan	131
	Cadangan	134
	BIBLIOGRAFI	136
	LAMPIRAN	140
	A Kaedah Pengiraan Komposisi Monomer dan Perangkai Silang untuk Penyediaan Kopolimer	141
	B1 Termogram DSC bagi Bahan Piawaian Indium	142
	B2 Kandungan Air pada Keseimbangan, EWC	143
	B3 Lengkung Tegasan lawan Terikan bagi menentukan Masa Pemanasan Optimum Sampel	146
	C Foto Mikrostruktur dari Kaedah SEM	147
	D Nilai Titik Alah bagi Setiap Sampel	155
	VTTA	156

SENARAI JADUAL

Jadual		Muka surat
1	Proses yang digunakan dalam pemindahan kimia daripada arang batu, minyak dan bahan mentah yang lain bagi menghasilkan bahan plastik.....	3
2	Formula kimia bagi monomer MMA dan ST.....	3
3	Kod untuk kandungan MMA:ST dan %EGDMA bagi kopolimer yang disediakan (MMA:ST:%EGDMA).....	39
4	Nilai peratus kandungan air pada keseimbangan dan kandungan pelarut pada keseimbangan untuk kopolimer MMA/ST/%EGDMA berbagai komposisi.....	46
5	Zon peralihan likat-anjal.....	130
6	Nilai titik alah bagi setiap sampel.....	155

SENARAI RAJAH

Rajah	Muka surat
1 Cara pemadatan molekul dalam polimer.....	7
2 Fenomena yang berlaku ke atas polimer apabila suhu berubah.....	9
3 Keluk kalorimetri pembezaan terma (DSC) yang menunjukkan suhu peralihan kaca.....	12
4 Contoh termogram kalorimetri pengimbasan pembezaan yang menunjukkan takat lebur.....	13
5 Kegagalan mekanik PMMA yang berubah dari keadaan perpatahan rapuh kepada perpatahan liat apabila dikenakan haba pemanasan sehingga melepasi suhu peralihan kaca.....	20
6 Daya yang dikenakan ke atas permukaan silinder.....	21
7 Graf tegasan lawan terikan polimer berhablur.....	24
8 Lengkung tegasan lawan terikan bagi polimer (mengikut Carswell dan Nason).....	27
9 Sel unit PL-DSC.....	29
10 Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer MMA1/ST1 dengan peratus EGDMA 1, 2, 4, 8 dan 10%.....	47
11 Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer MMA1/ST2 dengan peratus EGDMA 1, 2, 4, 8 dan 10%.....	48
12 Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer MMA2/ST1 dengan peratus EGDMA 1, 2, 4, 8 dan 10%.....	49

13	Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer dengan berbagai komposisi dan 1% EGDMA.....	51
14	Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer dengan berbagai komposisi dan 2% EGDMA.....	52
15	Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer dengan berbagai komposisi dan 4% EGDMA.....	53
16	Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer dengan berbagai komposisi dan 8% EGDMA.....	54
17	Graf peratus kandungan pelarut toluena lawan masa bagi kopolimer dengan berbagai komposisi dan 10% EGDMA....	55
18	Termogram bagi sampel MMA1/ST1 dengan berbagai peratus EGDMA.....	61
19	Termogram penghabluran pada suhu rendah bagi sampel MMA1/ST1 dengan berbagai peratusEGDMA.....	62
20	Termogram bagi sampel MMA2/ST1 dengan berbagai peratus EGDMA.....	63
21	Termogram penghabluran pada suhu rendah bagi sampel MMA2/ST1 dengan berbagai peratusEGDMA.....	64
22	Termogram bagi sampel MMA1/ST2 dengan berbagai peratus EGDMA.....	65
23	Termogram penghabluran pada suhu rendah bagi sampel MMA1/ST2 dengan berbagai peratusEGDMA.....	66
24	Termogram bagi sampel PMMA dan PS rujukan dan komersial.....	67
25	Termogram bagi sampel PMMA dan PS rujukan dan komersial (menunjukkan perubahan garis berlaku pada Tg)....	68
26	Graf peratus penghabluran lawan peratus EGDMA.....	69
27	Graf suhu lebur lawan peratus EGDMA.....	70

28	Termogram bagi sampel MMA1/ST1 yang telah dimampatkan sehingga 70% terikan dengan berbagai peratusEGDMA.....	71
29	Termogram bagi sampel 211 yang telah dimampatkan pada suhu 100 °C.....	72
30	Termogram bagi sampel 211 yang telah dimampatkan pada suhu	
31	Termogram bagi sampel 211 yang telah dimampatkan pada suhu	
32	Termogram bagi sampel 211 yang telah dimampatkan pada suhu 140 °C.....	75
33	Termogram suhu 200 °C.....	76
34	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi PMMA dan PS tanpa perangkai silang pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	83
35	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 1% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	84
36	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 2% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	85
37	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 4% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	86
38	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 8% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	87
39	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	88
40	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 1% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	89
41	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 2% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	90

42	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 4% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	91
43	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 8% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	92
44	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	93
45	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 1% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	94
46	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 2% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	95
47	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 4% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	96
48	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 8% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	97
49	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	98
50	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 1% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	99
51	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 2% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	100
52	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 4% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	101
53	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 8% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	102
54	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi tiga komposisi sampel dengan 10% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	103
55	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	104

56	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST2 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	105
57	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA2/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	106
58	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	107
59	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST2 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	108
60	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA2/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	109
61	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	110
62	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST2 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	111
63	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA2/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	112
64	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	113
65	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA1/ST2 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	114

66	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel MMA2/ST1 dengan 1, 2, 4, 8 dan 10% EGDMA pada kadar terikan $4 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$	115
67	Graf tegasan pada 30% terikan pada suhu bilik lawan log(kadar terikan) bagi sampel MMA1/ST1 dengan peratus EGDMA yang berbeza.....	117
68	Graf tegasan pada 30% terikan pada suhu bilik lawan log(kadar terikan) bagi sampel MMA1/ST2 dengan peratus EGDMA yang berbeza.....	118
69	Graf tegasan pada 30% terikan pada suhu bilik lawan log(kadar terikan) bagi sampel MMA2/ST1 dengan peratus EGDMA yang berbeza.....	119
70	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel 111 pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan suhu 30 hingga 200 °C.....	122
71	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel 1110 pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan suhu 30 hingga 200 °C.....	123
72	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel 121 pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan suhu 30 hingga 200 °C.....	124
73	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel 1210 pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan suhu 30 hingga 200 °C.....	125
74	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel 211 pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan suhu 30 hingga 200 °C.....	126
75	Graf tegasan lawan peratus terikan bagi sampel 2110 pada kadar terikan $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan suhu 30 hingga 200 °C.....	127
76	Perubahan log modulus berfungsikan suhu bagi sampel 111 dan 1110.....	128
77	Perubahan log modulus berfungsikan suhu bagi sampel 121 dan 1210.....	129
78	Perubahan log modulus berfungsikan suhu bagi sampel 211 dan 2110.....	130

79	Graf peratus kandungan air lawan masa bagi kopolimer MMA1/ST1 dengan peratus EGDMA 1, 2, 4, 8 dan 10%.....	142
80	Graf peratus kandungan air lawan masa bagi kopolimer MMA1/ST2 dengan peratus EGDMA 1, 2, 4, 8 dan 10%.....	143
81	Graf peratus kandungan air lawan masa bagi kopolimer MMA2/ST1 dengan peratus EGDMA 1, 2, 4, 8 dan 10%.....	144
82	Termogram DSC bagi bahan piawai indium.....	145
83	Lengkung beban lawan anjakan bagi menentukan masa pemanasan optimum sampel.....	146

SENARAI FOTO

Foto	Muka surat
1 Komponen-komponen Instron Siri IX bersama kebuk kawalan suhu Instron Siri 3119-005.....	33
2 Platen yang dipasang pada mesin Instron Siri IX bagi ujian mampatan.....	44
3 Sampel 111.....	147
4 Sampel 112.....	148
5 Sampel 114.....	148
6 Sampel 118.....	149
7 Sampel 1110.....	149
8 Sampel 121.....	150
9 Sampel 122.....	150
10 Sampel 124.....	151
11 Sampel 128.....	151
12 Sampel 1210.....	152
13 Sampel 211.....	152
14 Sampel 212.....	153
15 Sampel 214.....	153
16 Sampel 218.....	154
17 Sampel 2110.....	154

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

T_g	suhu peralihan kaca
PMMA	Poli (metil metakrilat)
T_m	takat lebur
MMA	metil metakrilat
ST	stirena
PS	Polistirena
K	Kelvin
%	peratus
$^{\circ}\text{C}$	darjah celsius
V	isipadu
A	luas permukaan
A_o	luas permukaan asal
h	ketinggian
h_o	ketinggian asal
d	diameter
d_o	diameter asal
r	jejari
r_o	jejari asal
ϵ_r	terikan jejarian

ϵ_A	terikan paksi
ϵ	terikan sebenar
e	terikan kejuruteraan
ν	nisbah poisson
EGDMA	etilena glikol dimetakrilat
E	modulus Young
EWC	kandungan air pada keseimbangan
SEM	mikroskop pengimbasan elektron
F	daya
σ	tegasan
AIBN	α, α' -azobisisobutironitril
ESC	kandungan pelarut pada keseimbangan
DSC	kalorimetri pengimbasan pembezaan
Q	haba
t	masa
T	suhu
U	tenaga dalam
W	kerja
x	jarak
p	tekanan
H	entalpi